

金属矿床地球物理勘探方法的创新与应用

周大为, 张 越, 陈艺竹

江苏华东八一四地球物理勘查有限公司(江苏省有色金属华东地质勘查局八一四队), 江苏 南京 210000

摘 要: 对金属矿床地球物理勘探方法的创新与应用展开了深入探讨, 其目的在于显著提升探测的精度与效率, 分析传统地球物理勘探技术所存在的局限性以及当前技术所面临的各类问题。电磁法和地震勘探技术的原理以及应用得以被介绍, 连同它们在高精度勘探当中的实际应用案例也囊括其中。综合勘探技术的成效获得了评估, 数据处理与分析技术的创新以及智能化地球物理勘探系统的构建亦被着重强调。

关键词: 金属矿床; 地球物理勘探; 电磁法; 地震勘探; 可持续发展

中图分类号: P618.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-5065(2024)16-0133-3

Innovation and Application of Geophysical Exploration Methods for Metal Deposits

ZHOU Da-wei, ZHANG Yue, CHEN Yi-zhu

Jiangsu Huadong 814 Geophysical Exploration Co., Ltd(Jiangsu Nonferrous Metals East China Geological Exploration Bureau, Team 814),

Nanjing 210000, China

Abstract: We have conducted in-depth discussions on the innovation and application of geophysical exploration methods for metal deposits, with the aim of significantly improving the accuracy and efficiency of exploration, analyzing the limitations of traditional geophysical exploration techniques, and the various problems faced by current technologies. The principles and applications of electromagnetic method and seismic exploration technology are introduced, along with their practical application cases in high-precision exploration. The effectiveness of comprehensive exploration technology has been evaluated, and innovation in data processing and analysis technology, as well as the construction of intelligent geophysical exploration systems, have also been emphasized.

Keywords: metal deposits; Geophysical exploration; Electromagnetic method; Seismic exploration; sustainable development

金属矿床乃现代工业和科技发展的重要基础, 准确高效的勘探技术对矿产资源合理开发利用意义重大, 传统地球物理勘探技术曾发挥重要作用但局限性渐显, 无法满足现代矿业高精度高效率需求, 创新勘探方法成为关键。本文探讨其最新进展及应用, 重点分析电磁法和地震勘探技术原理及应用案例, 评估综合勘探技术效果, 提出智能化可持续发展策略, 多学科交叉融合探讨为未来发展提供支持和指导。

1 金属矿床地球物理勘探技术的现状与挑战

1.1 传统地球物理勘探技术的局限性

传统地球物理勘探技术分辨率偏低, 难以有效识别深部及小规模矿体结构, 致使众多潜在矿产资源未能得以有效探测, 且在复杂地质条件下适应性欠佳。受地表覆盖层、地质扰动等因素影响显著, 往往会产生误差或失真, 其多依赖单一物理参数, 对多种物理性质综合分析的能力有限, 难以提供全面的地下信息。数据处理和解释手段相对落后, 缺乏先进的数据分析算法与建模技术, 致使勘探结果的准确性与可靠性偏低, 通常还需投入大量人力与时间成本, 效率不高, 难以满足现代矿业对快速且精确勘探的需求。

1.2 当前勘探技术面临的问题

尽管诸如电磁法和地震勘探技术等创新技术已取得突破性进展, 然而在实际应用中, 这些技术依旧受复杂地质环

境和多变地形条件所限, 导致勘探结果的准确性与可靠性难以获得保证。数据处理和分析始终是一项重大挑战, 当前的勘探技术会产生海量数据, 但数据处理算法和模型尚未完全满足高精度和快速分析的需求, 致使信息提取与结果解释的效率低下^[1]。勘探设备和技术成本高昂, 使大规模推广和应用面临经济压力, 技术人员的专业素养与操作能力直接关乎勘探效果, 现有的培训体系和实践经验积累仍需进一步完善与提高, 环境保护和可持续发展要求的提升, 也给地球物理勘探技术带来新的挑战。怎样在确保勘探精度和效率时, 降低对环境的影响, 成为亟待解决的问题。

2 创新地球物理勘探技术的理论基础

2.1 电磁法的原理与应用

电磁波于地下传播期间, 鉴于地下岩层与矿体的电导率、磁导率等物理参数存在差异, 会致使电磁场的幅度及相位产生变化, 借由测量此类变化, 能够推断地下介质的分布与性质。电磁法于金属矿床勘探中的应用颇为广泛, 主要涵盖瞬变电磁法、频率域电磁法以及大地电磁法等。瞬变电磁法凭借短暂脉冲激发电磁场, 适宜用于浅部矿体的精细勘探; 频率域电磁法经过连续波激发电磁场, 适用于较深部的矿体勘探; 大地电磁法则依据自然电磁场变化实施探测, 适用于大规模区域勘查。这些方法于实际应用当中, 能够切实有效地识别地下矿体的形态、规模以及埋藏深度, 为矿床评价与开发给予了重要依据。伴随技术的演进, 电磁法的探测精度与数据处理能力持续提升, 结合先进的数值模拟及反演算法, 能够更为精准地重建地下电性结构, 显著增进勘探效果。电磁法于复杂地质条件下的适应性强, 尤其是含有高电导率矿物的金属矿床, 能够提供更为明晰和可靠的探测结

收稿日期: 2024-06

作者简介: 周大为, 男, 生于1987年, 辽宁丹东人, 本科, 工程师, 研究方向: 矿产地质。

果,成为矿产资源勘查中的关键工具。

2.2 地震勘探技术的进展

地震勘探的基本原理在于人为激发地震波,测量其于地下传播过程中的反射和折射特性,从而推断地下地质结构与矿体分布。随着技术的发展,地震勘探自传统的二维地震勘探逐步拓展至三维、四维地震勘探,极大地提高了地下成像的精度与分辨率。三维地震勘探能够全面且立体地呈现地下地质结构,有益于精细勘探和矿床的精确定位;四维地震勘探时间维度的融入,能够动态监测地下矿体和流体的变化,为资源开发和环境监测提供重要数据支撑^[2]。在数据采集层面,高密度地震数据采集技术的发展,令获取的地震数据更为精细和丰富;在数据处理层面,先进的地震数据处理算法和高性能计算技术的运用,使地震数据的处理速度与准确性大幅提高。特别是地震反演技术的发展,经由复杂的数学模型和数值计算,能够更加准确地重建地下地质结构,识别矿体的形态和性质。微地震监测技术的进步,促使地震勘探技术于地下资源开采过程中的应用更为广泛,能够实时监测矿区地震活动,为安全生产和灾害预警提供重要支持。

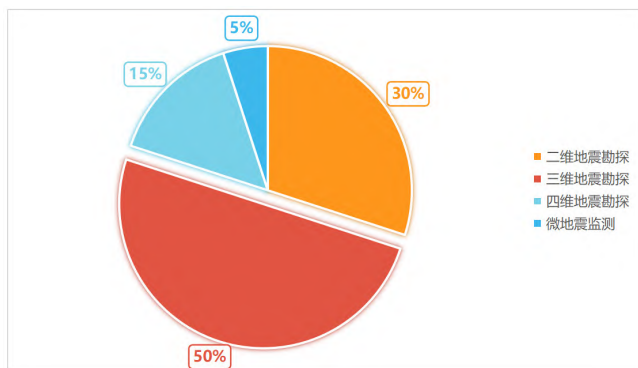


图1 地震勘探技术的饼图

3 创新地球物理勘探技术在金属矿床中的应用

3.1 高精度勘探技术的应用案例

电磁法借助精细的电磁场数据采集与处理,成功甄别出地下深部的高电导率异常区域,而这些区域极有可能是富含铜矿体的目标区。地震勘探则凭借高密度数据采集和三维成像技术,进一步精准确定了这些异常区域的空间位置与几何形态。两种技术的相互结合,促使该矿区的勘探精度大幅提升,矿体的形态和规模得以被详尽描绘。在某金矿的勘探进程中,采用了高精度瞬变电磁法展开详细勘探。多次覆盖以及高分辨率的数据采集,此项技术成功揭示出地下金矿脉的细微变动,精准定位了矿脉的延伸方向和深度,极大程度地提高了钻探的成功率和资源利用率。这些应用案例不单展现了高精度勘探技术于复杂地质条件下的出色表现,还证实了其在实际矿床勘查中所具有的巨大潜力和广阔应用前景。高精度勘探技术的应用,不但提升了矿产资源的探测效率与精度,还为后续的矿山开发提供了可信的地质依据,极大地降低了勘探和开发的风险与成本。

3.2 综合勘探技术的效果评估

地震勘探提供了高分辨率的地下结构信息,电磁勘探揭

示了地下电性差异,重力勘探补充了密度分布的数据。这三种技术的综合运用,让矿区的地质结构和矿体分布获得了全面且精确的描述。在数据处理和解释的过程中,利用先进的数据融合与反演算法,对不同勘探技术的数据予以综合分析和解译,构建起一个高精度的三维地质模型。该模型不但详尽展示了矿体的空间位置和规模,还提供了矿体的物理性质和成分信息^[3]。这些信息对于后续的资源评价和开发决策极为关键,能够给予科学且可靠的依据。三维模型能够精准确定矿体的深度和形态,有益于规划最优的开采方案,提高资源利用率,降低开采成本。综合勘探技术的应用还显著增强了勘探的精度和可靠性,减少了单一技术会引发的误差和不确定性。不同技术的互补优势,令综合勘探在复杂地质条件下表现卓越,能够准确识别和描述地下的细微结构变化。在实际应用里,这种技术不仅提升了工作效率,还带来了显著的经济效益。综合勘探技术减少重复工作和无效勘探,降低了总体勘探成本和时间耗费,也提高了勘探结果的准确性和可信度。

4 提高勘探精度和效率的技术手段

4.1 数据处理与分析技术的创新

伴随计算机技术和算法的迅猛发展,数据处理与分析技术收获了显著的创新成果,先进的信号处理技术,诸如小波变换和傅里叶变换,令地球物理数据的降噪和信号提取变得更为高效与精准。机器学习和人工智能算法的引入,极大地提高了数据分析的自动化水平。卷积神经网络(CNN)和深度学习算法在地震数据的识别与分类表现卓异,能够自动提取繁杂的地下结构特征。实时数据处理技术的进步,促使现场数据能够即时得到处理和分析,增进了勘探工作的效率以及决策的及时性。于地震勘探当中,三维反演算法和全波形反演技术的发展,让地下结构的成像愈发清晰和精确。结合大数据技术,地球物理勘探数据的存储、管理和分析能力获得了极大提升,能够处置海量数据,并从中挖掘出有价值的信息。数据处理与分析技术的创新,不单提高了地球物理勘探的精度和效率,还为达成智能化勘探筑牢了基础,推动了勘探技术的现代化和智能化发展进程。

4.2 智能化地球物理勘探系统的构建

传感器技术的演进,使地球物理勘探设备能够高精度、全方位地采集地下信息。分布式光纤传感器和无线传感网络,能够实时监测并传输地下数据,提供连续、动态的地下结构变化信息。自动化控制技术的运用,让勘探设备能够在复杂地形和环境里自主运行和操作,降低了人工干预和操作风险。在数据分析层面,人工智能算法的引入,使数据处理和解释更具智能化和精准性。基于深度学习的地震数据自动解译系统,可迅速识别和分类地下结构,提高了数据分析的效率和准确性^[4]。智能化地球物理勘探系统还拥有自我学习和优化的能力,能够依据实际勘探结果持续调整和优化勘探策略与方法,提升勘探效果和经济效益。智能化系统的构建,地球物理勘探不但实现了技术和效率的突破,还在一定程度上化解了传统勘探方法中存在的难题,为矿产资源的高效、精准开发给予了有力支撑。

表1 不同地球物理勘探方法的性能比较

方法	探测深度(米)	分辨率(米)	数据处理时间(小时)	成本(万元)	适用地质条件	优势	劣势
重力勘探	500-1000	5-10	48	20	各类地质条件	深部结构识别好	分辨率低,不适合浅部勘探
磁力勘探	300-800	2-5	24	15	磁性矿物丰富地区	敏感度高,分辨率较好	受地表噪音影响大,解释复杂
电磁勘探	100-500	1-3	36	25	电性差异显著地区	探测精度高,适合金属矿床	探测深度有限,受环境影响较大
地震勘探	500-2000	0.5-2	72	50	各类地质条件	分辨率高,适合复杂结构勘探	成本高,数据处理复杂
大地电磁法	1000-3000	10-20	96	30	深部结构勘探	探测深度大,适合大规模区域勘查	分辨率低,数据处理时间长
瞬变电磁法	100-300	1-2	12	10	浅部矿体勘探	精度高,探测速度快	探测深度有限,不适合深部勘查
高密度电法	50-200	0.5-1	18	12	浅层和中层结构勘探	分辨率高,适合详细勘查	探测深度有限,受地表条件影响大
分布式光纤	0-100	0.1-0.5	实时	8	各类地质条件	实时监测,精度极高	探测范围有限,需密集布设
无线传感网络	0-200	0.5-2	实时	15	动态监测需求的区域	实时性强,适应性好	传输距离有限,需可靠的通讯支持

5 未来地球物理勘探技术的发展趋势

5.1 多学科交叉与融合

于金属矿床地球物理勘探之中,多学科交叉与融合已然成为助推技术进步以及提升勘探效果的关键要素,借由将地质学、地球物理学、计算机科学、环境科学等多学科知识相互融通,能够全方位增进勘探技术的理论深度与应用广度。地质学和地球物理学的有机结合,令地质结构与矿体特征的识别愈发精准,地质模型的构建更趋科学,为勘探提供了更为可靠的基础数据与参考依据。计算机科学的引入,尤其是人工智能和大数据分析技术的应用,极大地提升了地球物理数据处理的效率与准确性。人工智能算法,例如机器学习和深度学习,在处理和繁杂的地球物理数据时表现出众,能够自动提取出有价值的信息,降低了人工分析的误差和耗时。大数据技术的运用,使得海量数据的存储、管理和分析更为高效,能够从中挖掘出更为深刻和全面的勘探信息。环境科学的参与,令在勘探过程中能够更优地考量环境保护和可持续发展问题,削减对生态系统的影响。采用更为环保的勘探方法和技术,减少对地表和生态环境的破坏,促进资源开发与环境保护的协调发展。多学科交叉与融合不但推动了现有技术的改良,还促进了新技术和新方法的创新与发展。结合遥感技术和地球物理勘探技术,能够达成大面积、高效率的矿产资源勘查;将化学分析与地球物理勘探技术相结合,更全面地知悉矿床的成分和分布特征。这些创新和发展,不单提升了金属矿床勘探的技术水准,还拓展了勘探的视野和思路,为实现更为科学、高效和环保的矿产资源勘探给予了有力支撑。

5.2 可持续发展与环境保护

可持续发展理念规定在资源勘查和开发时,既要满足当下的需求,又不可损害未来资源的可利用性。此理念于地球物理勘探技术的应用里,具体展现为运用更为环保和高效的勘探方式,意在降低对环境的扰动与破坏。非破坏性勘探技术,像是电磁法和地震勘探技术,能够在无需大规模开挖的状况下,获取地下矿体的信息。此种方法极大地削减了对地表和生态系统的影响,守护了自然环境的完整性。伴随环境保护技术的进步,在勘探过程中能够更优地监测和把控

对环境的影响成为可行之事。运用实时监测系统,能够动态把控勘探区域的环境变化,及时施行举措减缓或消除负面效应^[5]。当监测到勘探活动或许会对环境造成不利影响时,能够即刻调整操作,规避环境的进一步恶化。废弃物处理和资源再利用技术的应用,令勘探过程中生成的废弃物能够得到有效处置和利用,降低环境污染。回收和再利用勘探过程中产生的废弃物,不但减少了对环境的负面作用,还提升了资源的利用效率,契合可持续发展的要求。这些举措不但彰显了对环境保护的注重,也为资源的可持续利用给予了强劲支撑。在地球物理勘探中贯彻可持续发展理念,凭借技术创新和科学管理,不但能够达成资源的高效开发,还能够保护环境,造福未来。

6 结语

系统回顾和总结金属矿床地球物理勘探方法的创新与应用可知,创新地球物理勘探技术在提升探测精度和效率作用关键,电磁法和地震勘探技术实际应用成果显著,高精度和综合勘探技术于复杂地质条件下表现卓越,数据处理与分析技术创新及智能化勘探系统构建进一步推动发展,多学科交叉融合及可持续发展理念应用不仅提升科学性和环保性,还为矿产资源高效开发提供有力支撑,未来地球物理勘探技术将持续朝高效、精准、绿色方向发展。■

参考文献

[1] 樊洪明,董金鑫,王锋.基于地球物理方法的金属矿床勘探技术研究[J].世界有色金属,2024,(07):112-114.

[2] 文武,张承杰,田仁聪,等.综合物探方法在西藏努日钨铜多金属矿床东部远景区勘查中的应用[J].矿产与地质,2023,37(06):1240-1248.

[3] 曹创华,文春华,楼法生,等.湖南省典型稀有金属矿床地球物理响应特征及物探找矿方法研究[J].大地构造与成矿学,2020,44(06):1096-11125.

[4] 王唯存,王守兴.金多金属矿床中电法的应用方法研究[J].世界有色金属,2019,(22):220-221.

[5] 苑永涛,谭运鸿,封建平,等.综合物探在东昆仑拉陵灶火铜多金属矿应用效果研究[J].物探化探计算技术,2019,41(05):665-673.